

Balanced Demodulator
& Modulator
circuits.

LM 1496

[HoloSound]
1987

" HOLOSOUND " is
een intermedia projekt van
het Logos-Duo:

holosound betovert de ruimte
die trilt bij de geringste beweging
eenenkele vinger
eenenkele teen veroorzaakt golven
die het trommelvlies raken
en klank worden
hoorbare beweging
of toverkracht
der heksen

rode cirkels als omtreklijnen
grenzen van magische sferen
sleutels van metaalklank
het niets als fascinerend centrum
vuurphoenix
en rook
woordloos verdwijnend in leegte

Godfried-Willem Raes ontwikkelde zelf de elektronische apparatuur in de lab's van Stichting Logos en Moniek Darge werkte de performance visueel en theatraal uit. Het stuk kwam mede tot stand als resultaat van een kompositieopdracht voor de Massachusetts council for the Arts en werd gekreerd voor Mobius te Boston.

Holosound vertaalt iedere beweging in klank en kreeert zodoende ULTRASONIE BEWEGINGSHOLOGRAMMEN.

Een zender stuurt ultrasone, dus onhoorbare golven uit, die door iedere beweging van de performer onderbroken en gereflekteerd worden. Zelfs de geringste trilling van een vingerkootje zal deze golven beïnvloeden en verschilltonen produceren die binnen het hoorbereik vallen. Op die manier is beweging niet langer alleen zichtbaar, maar is ze ook letterlijk hoorbaar geworden.

De ruimte tussen de zender en de ontvangers is als het ware behekst.

Een viervlak of tetraeder is de imaginaire ruimtelijke figuur, die deze zender en ontvangers met elkaar verbindt. De behekste ruimte wordt gesymboliseerd door twee rode concentrische cirkels die de in- en omgeschreven boilen van de tetraeder visualiseren. Zodra de heksenkring wordt betreden, treedt de apparatuur in werking en wordt beweging geluid. De drie ontvangers krijgen immers elk een verschillend signaal, dat bestaat uit het konstant aanwezige ultrasone geluid plus het in frekwentie op grond van het Doppler-Fizeau effect verschoven, weerkaatste geluid. Tussen beide kan nu na frekwentiedemodulatie van het signaal de verschiltoon hoorbaar worden gemaakt.

De performer danst niet alleen maar kreeert tegelijkertijd zelf de muziek, want iedere verandering van snelheid en bewegings-richting zorgt voor toonhoogte- en geluidsstrekte variaties. De drie signalen die opgevangen worden door de ontvangers, zijn immers elk volgens een andere vektor afhankelijk van de bewegingssnelheid, zodat de performer eens binnen de heksenkring een onzichtbaar muziekinstrument bespeelt.

De tweede speler die roer-loos buiten de cirkel achter de elektronische apparatuur zit, mengt deze drie signalen in onderling regelbare sterkteverhoudingen. Hij gebruikt dit mengsignaal als frekwentiemodulatie-sigitaal voor de ultrasoonzender, met als resultaat dat er zgn. staande golven worden opgewekt. Deze golven zijn hoorbaar als geluiden die typisch en uniek zijn voor die bepaalde ruimte terwijl zij tevens op een spookachtige manier variëren naar gelang de omgevingsakoestiek.

Het complexe oscillatiesysteem, dat binnen de eerste heksenkring wordt gebruikt, laat aldus toe een relevant akoestisch bewegingshologram te realiseren, wat bv. middels fotocellen niet kan.

Sinister en dreigend evenwel lokt de magische aantrekkingskracht van het centrum de performer. En uiteindelijk wordt ook de tweede cirkel betreden.

Een duiveis metaalachtig geraas bestraft de indringer.

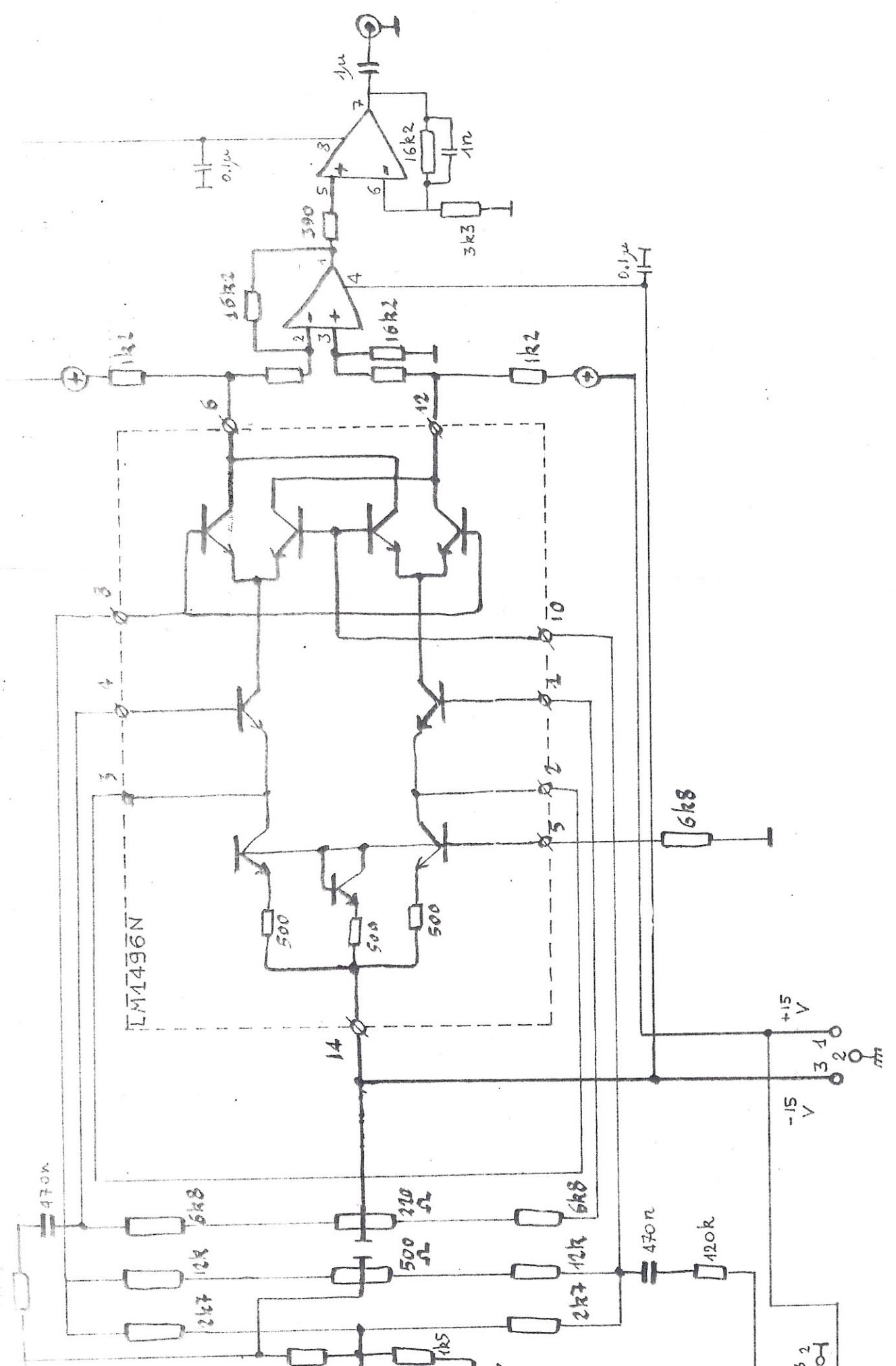
Het heise kabaal wordt veroorzaakt door de drie versterkte signalen die hiertoe elk afzonderlijk in een transducer worden gestuurd. Hun trillingen worden overbracht op bandveerstaal dat op zijn beurt de trillingen doorgeeft aan vier nieuwe trillingsopnemers.

De signalen van deze trillingsopnemers worden nu versterkt, bewerkt door een computergestuurde "modulo-N deeler / vermenigvuldiger" en gemengd met het oorspronkelijk signaal.

Een deel van het signaal wordt rechtstreeks hoorbaar gemaakt, een ander deel wordt teruggestuurd naar de trillingstransducers. Door deze opstelling wordt een tweede meerdimensioneel trillingssysteem gerealiseerd.

Een kringloop van duivelse klanken.

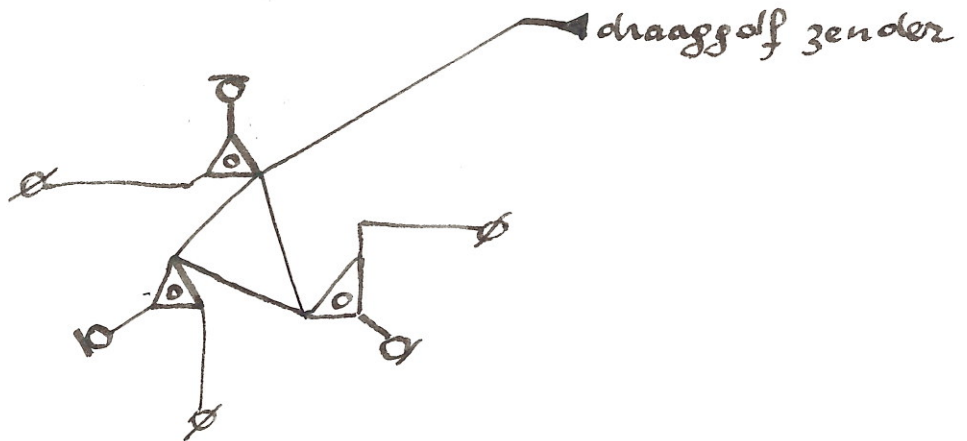
De performer zit letterlijk vastgeketend aan het geluid en stort machteloos neer in het centrum van de magische sferen, om als een phoenix uit vuur en as te herrijzen.



2 mogelijke demodulaties:

1.

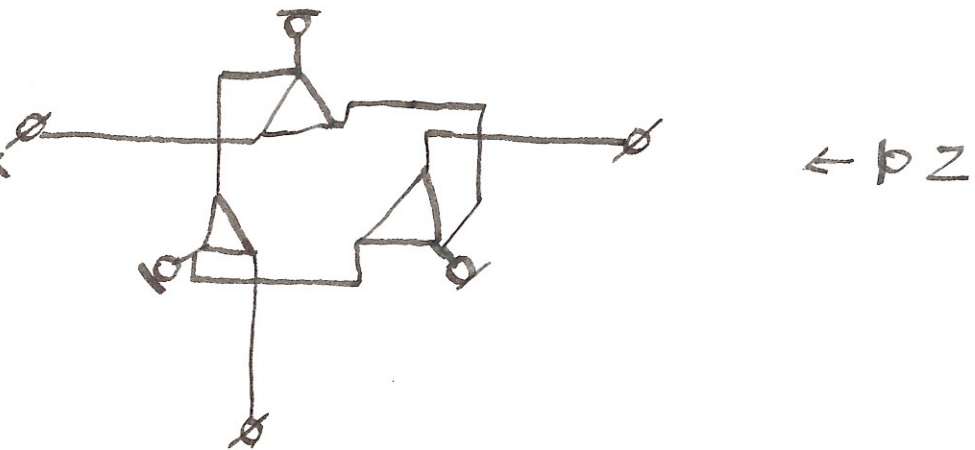
COMMON
CARRIER



uitgangen: demodulatie
tegenover de
gemeenschappelijke
draaggolf van de zender.

2.

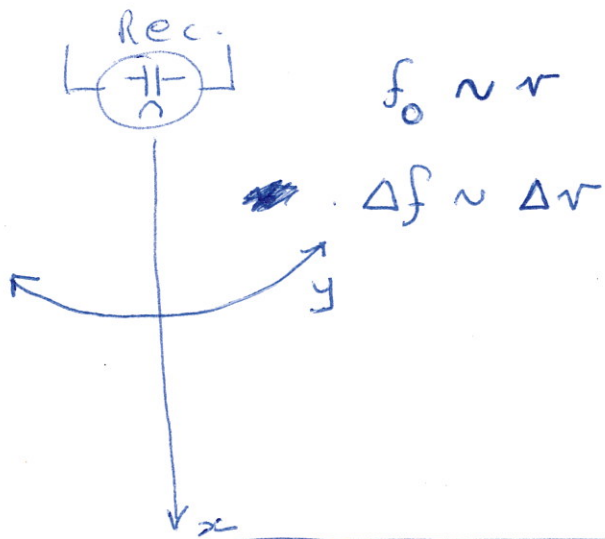
MUTUAL
DEMODULATOR



uitgangen: demodulatie
tegenover elkaar
in ringstructuur.

* Holtsound

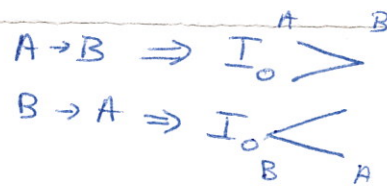
Parameters



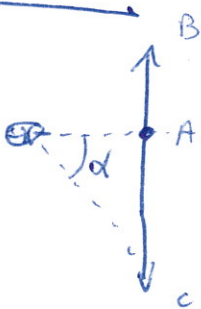
Model 1.



$f_0 \sim v_{sc}$



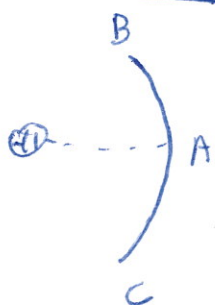
Model 2.



? $f_0 \sim v \tan \alpha$

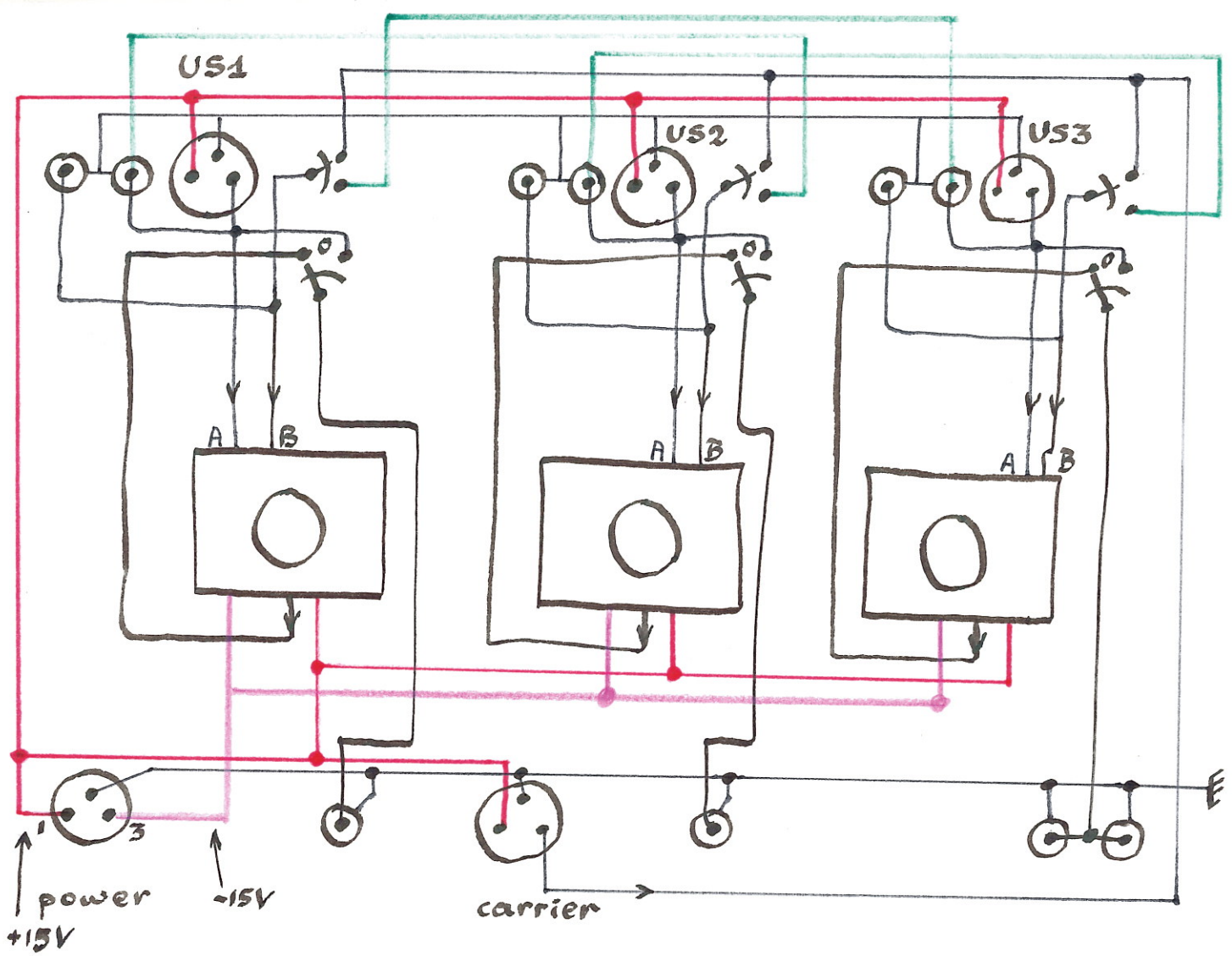


Model 3.



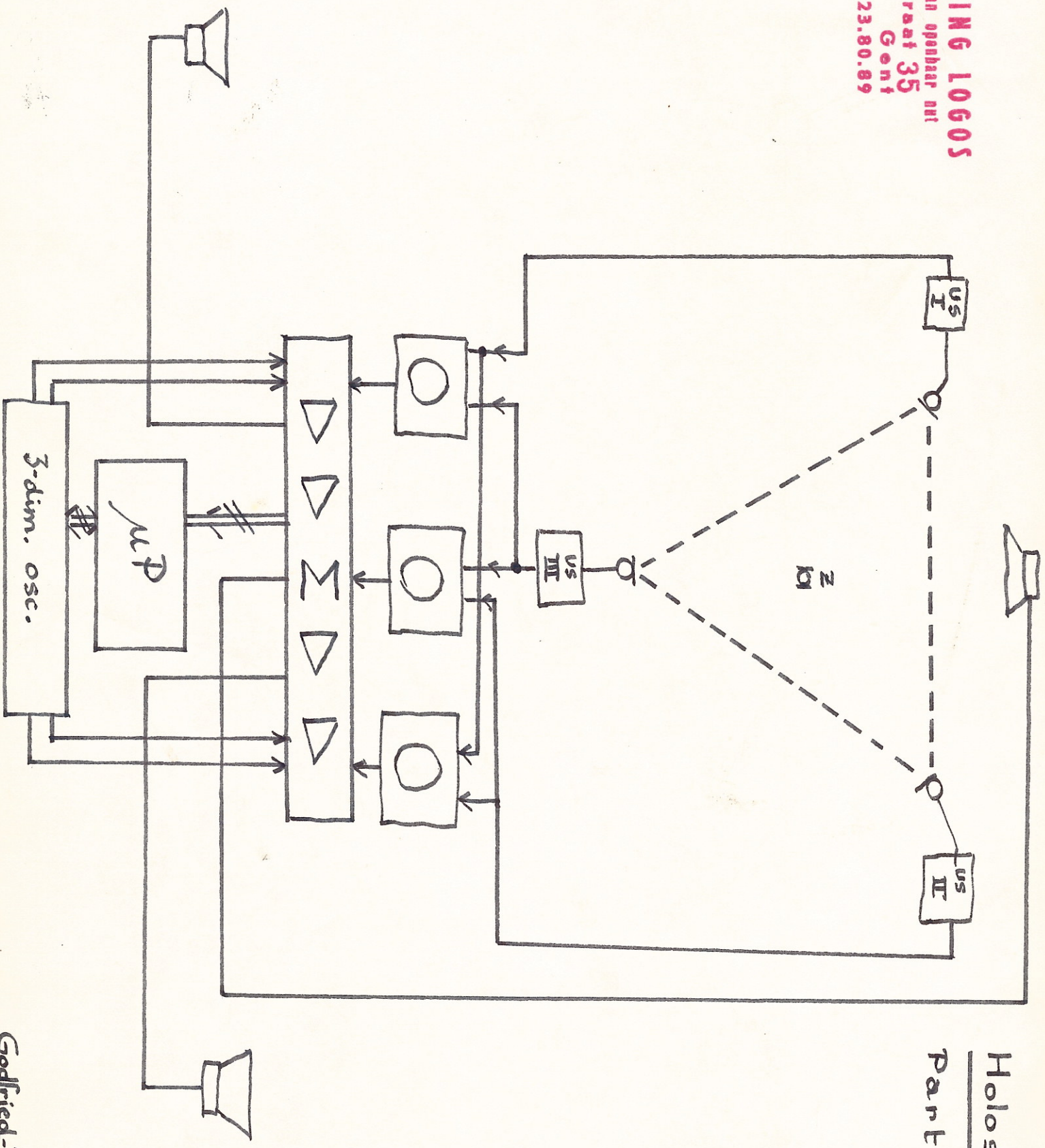
$f_0 \sim v_x$

$I_0 = c =$



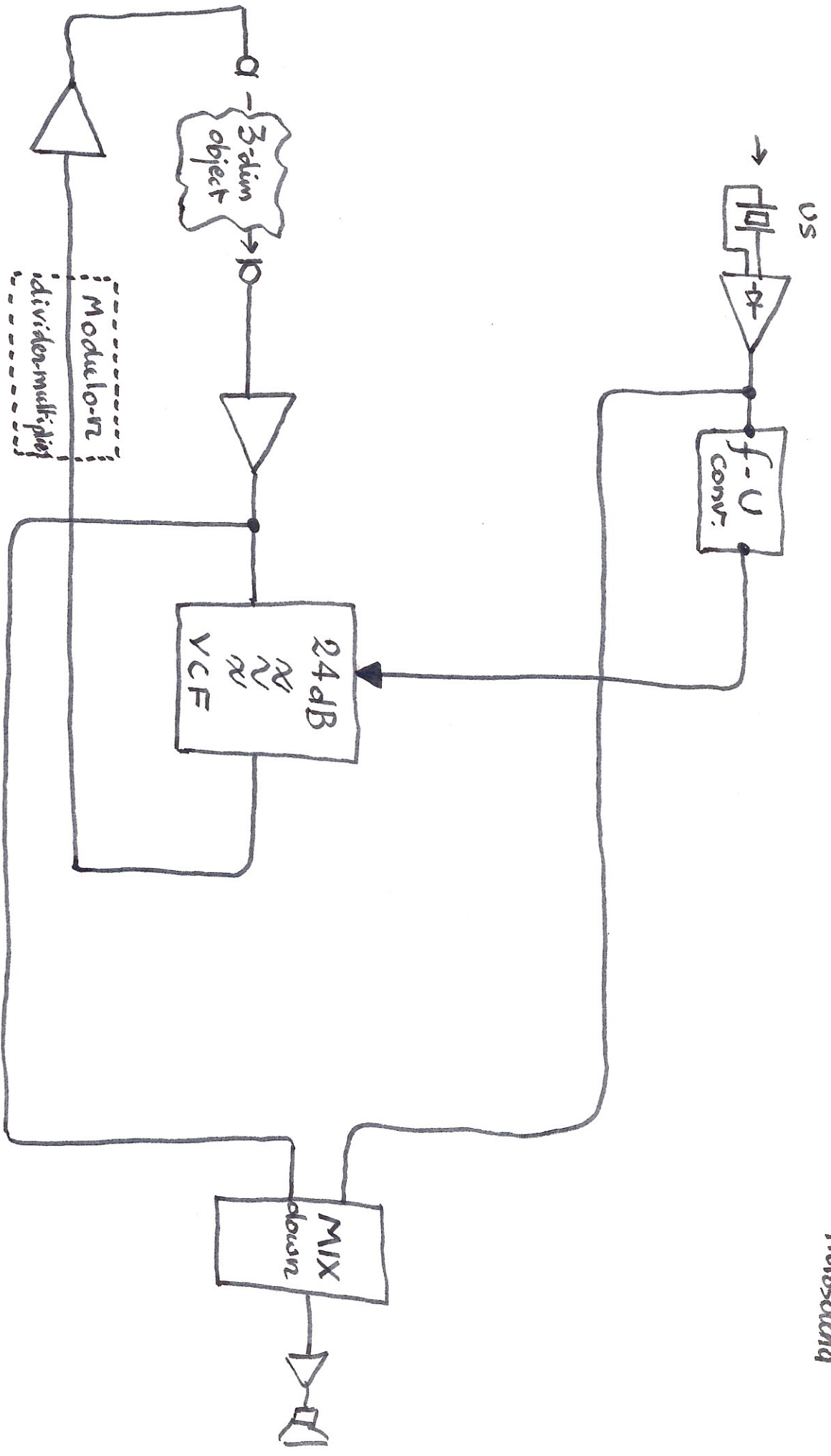
Sic
20.03.87

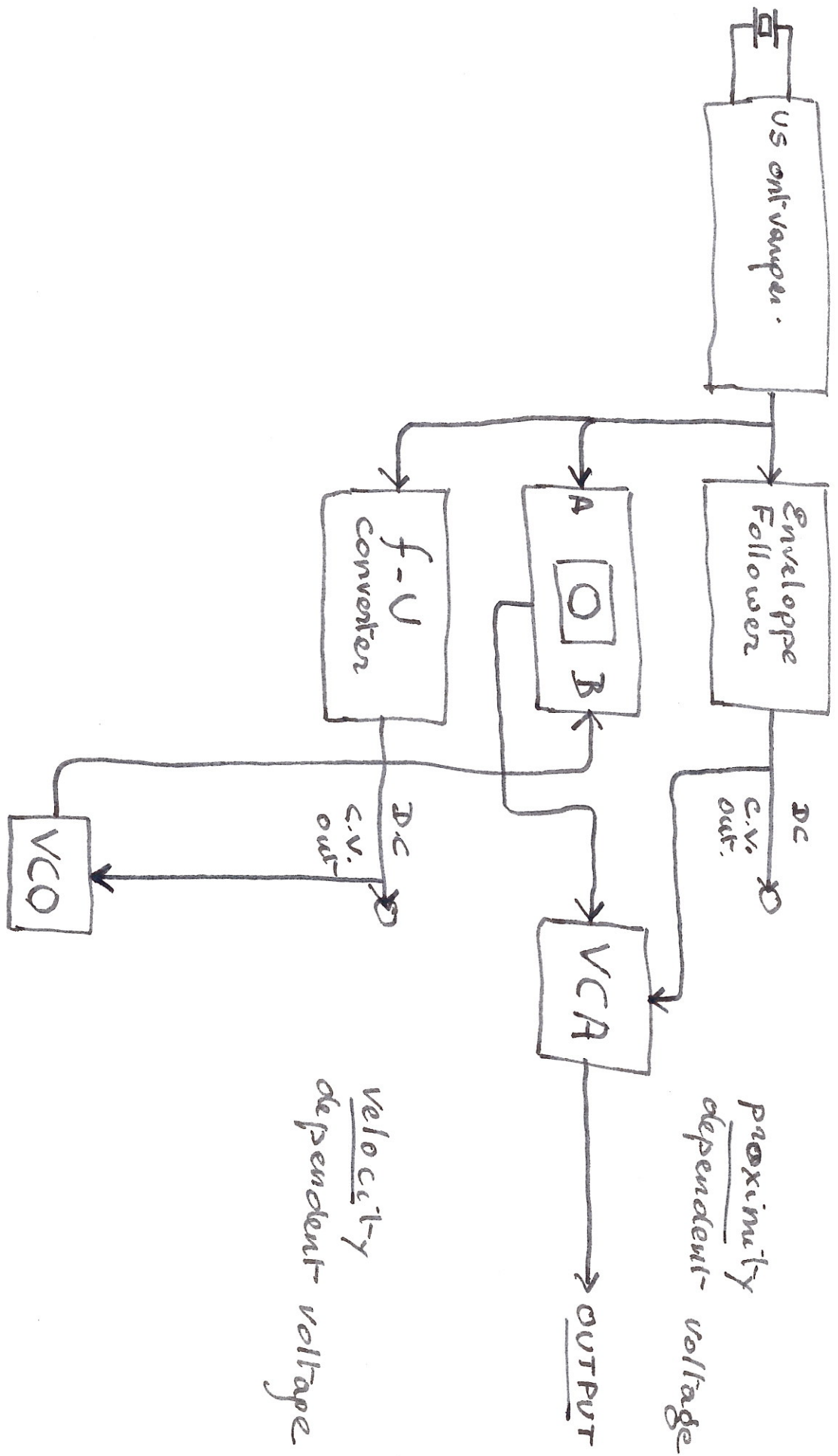
STICHTING LOGOS
 instelling van openbaar nut
 Kongestraat 35
 B-9000 Gent
 tel. 091-23.80.89



HoloSound
 Part I

Godfried-Willem Raes

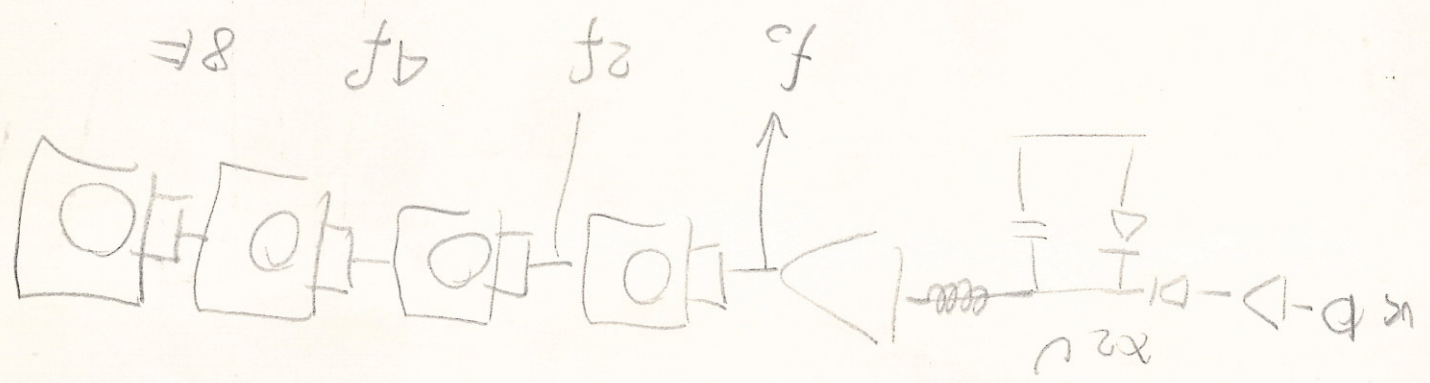
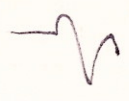
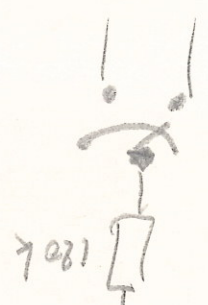
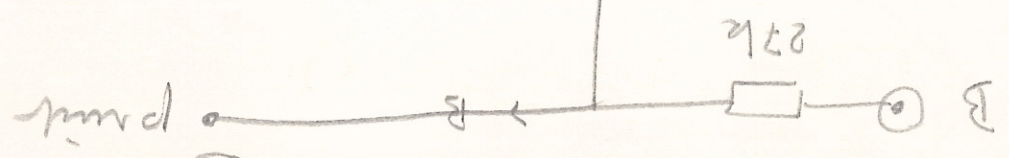
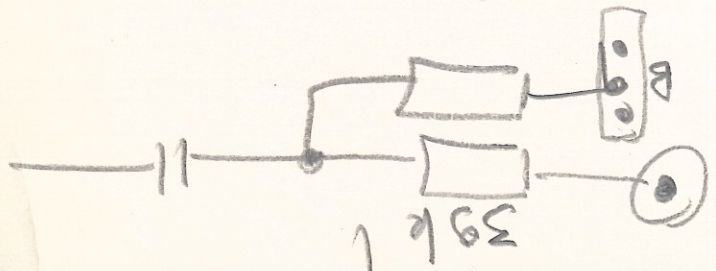




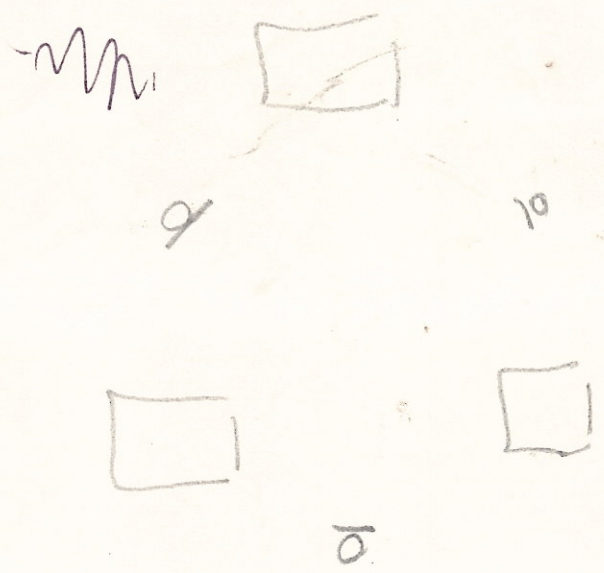
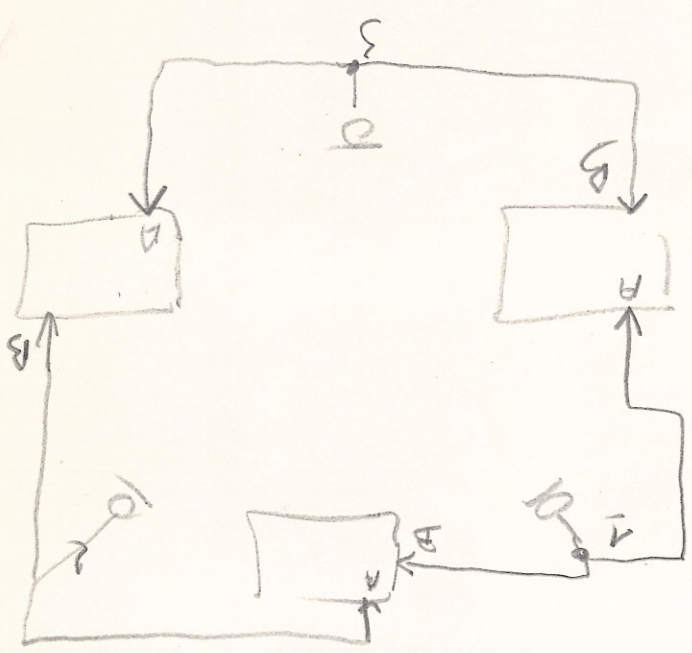
Proximity
dependent- voltage

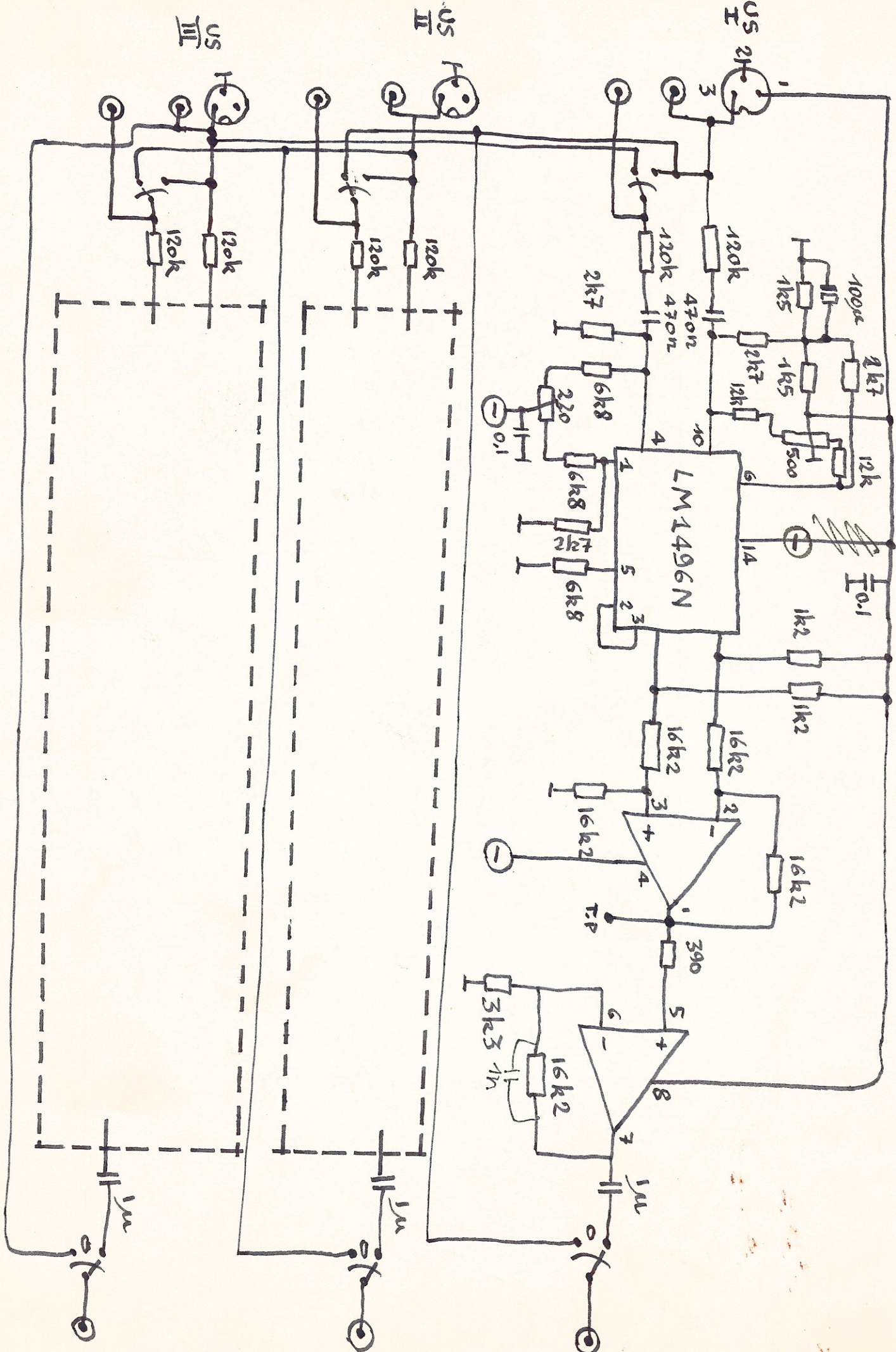
velocity
dependent- voltage

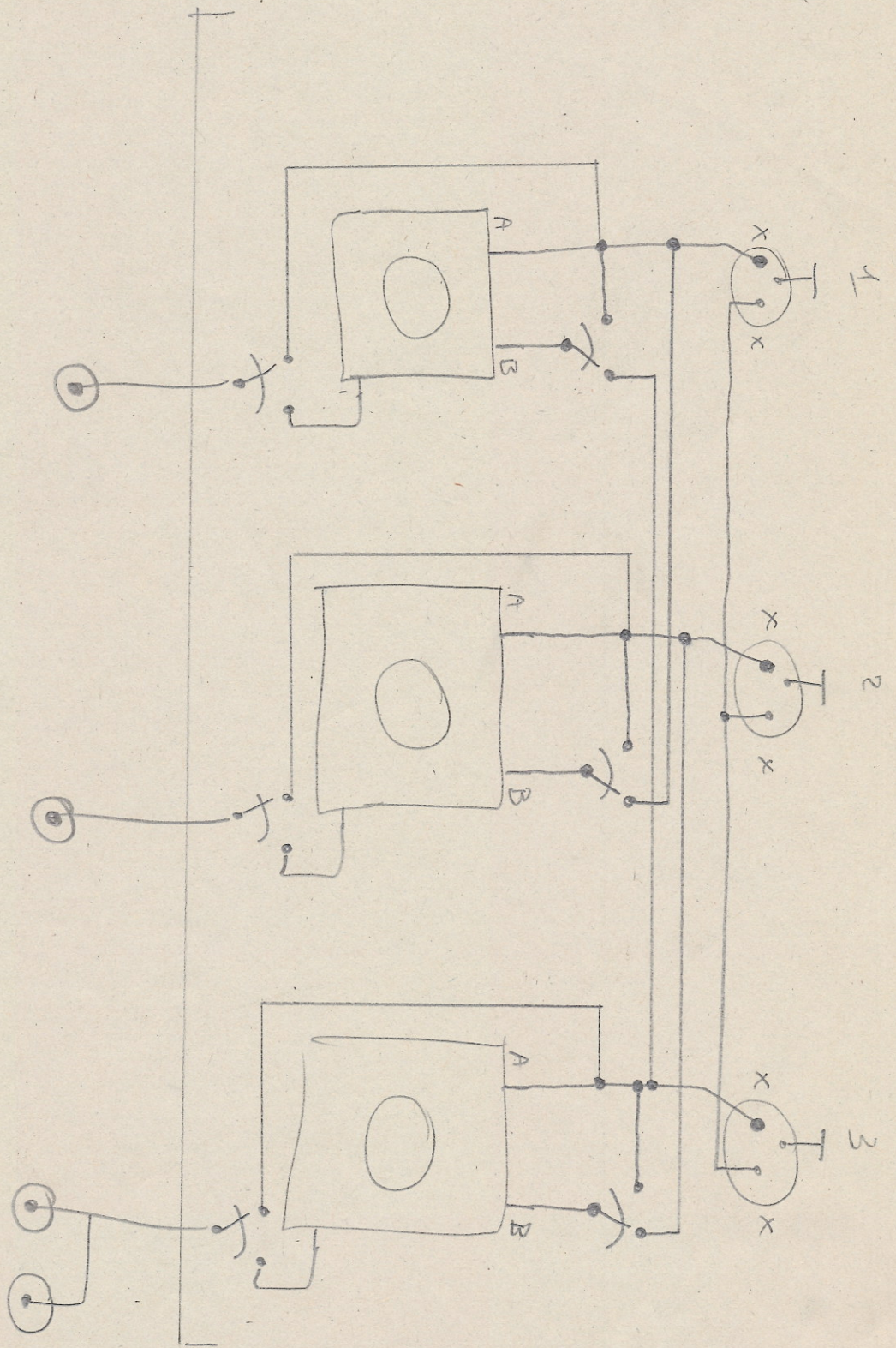
US3 wirep B:



f_0
2f
4f
8f







Ph
dium

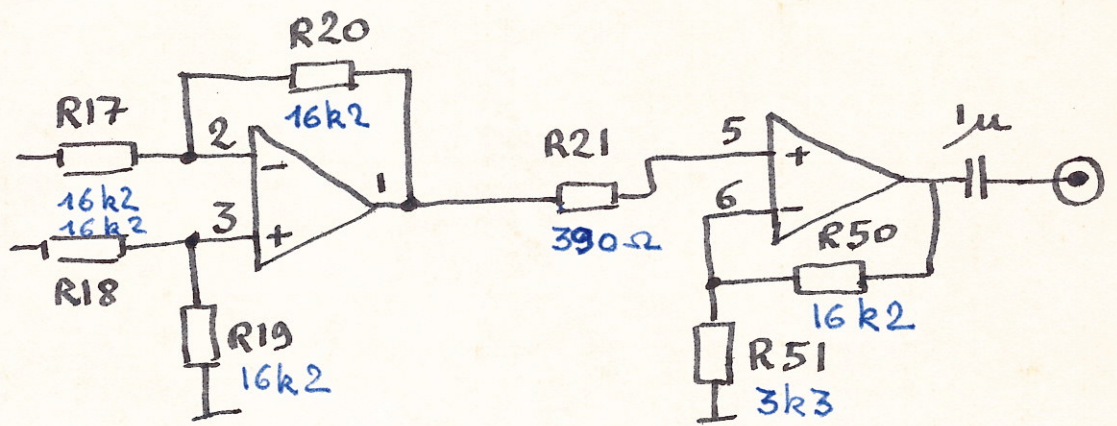
Witgangstrap

Def.

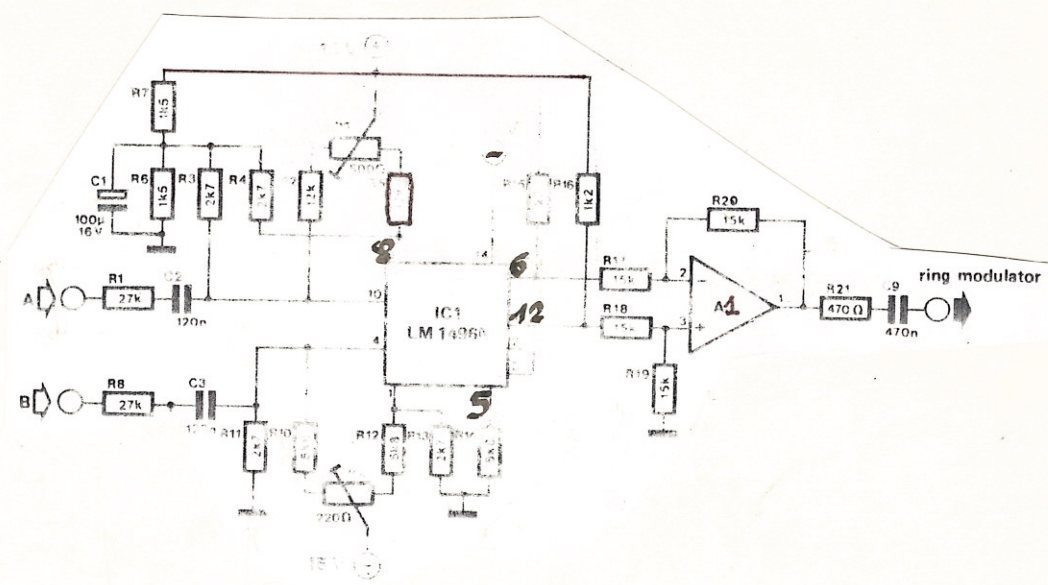
R 1: 120k

R 50: 16k2

R 51: 3k3



$$A_v = \frac{R_{50} + R_{51}}{R_{51}}$$
$$= \frac{19k5}{3k3} = \underline{\underline{5,9}}$$



$R1, R8 : \cancel{27k}$
 $R2, R5 : 12k$
 $R3, R4, R11, R13 : 2k7$
 $R6, R7 : 1k5$

$C1 : 100\mu$ $R1, R8 = 120k$
 $C2, C3 : 470nF$

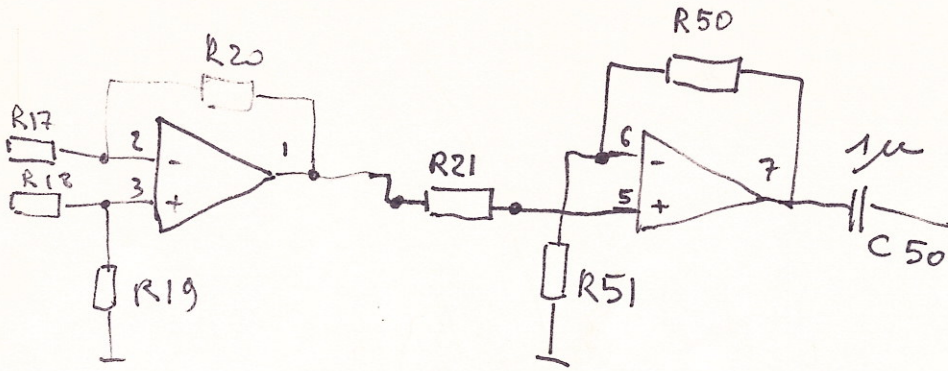
$R10, R12, R14 : 6k8 \quad 1\%$
 $R15, R16 : 1k2 \quad 1\%$

$R17, 18, 19, 20 : 15k \quad 1\% \rightarrow 16k2 \quad 1\%$
 $R21 : 470\Omega \rightarrow 380\Omega$

15000

Tabel	R_{50} / R_{51}	t.o.v. R_1	voor	0dB toeval ($U_i = U_o$)
$U_i = 1,5V_{pp} = 0,5V$	R_1 27k	R_{50} 0Ω	R_{51} ∞	-3dB
$U_i = 2,17V_{pp} = 0,775V$	R_1 40k5	R_{50} 10k	R_{51} 5k6	0dB
$U_i = 4,2V_{pp} = 1,5V_{rms}$	R_1 81k Ω	R_{50} 10k	R_{51} 3k3	+6dB
$U_i = 8,4V = 3V_{rms}$	R_1 162k Ω	R_{50} 10k	R_{51} 1k65	+12dB
$U_i = 16,8_{pp} = 6V_{rms}$	R_1 330k Ω	R_{50} 10k 47k	R_{51} 825 Ω 3k9	+18dB

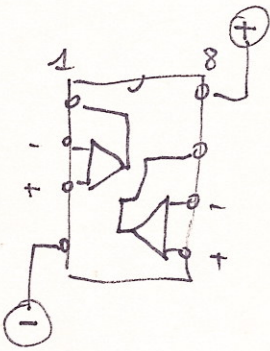
4 x 15k



$R50 = 0$

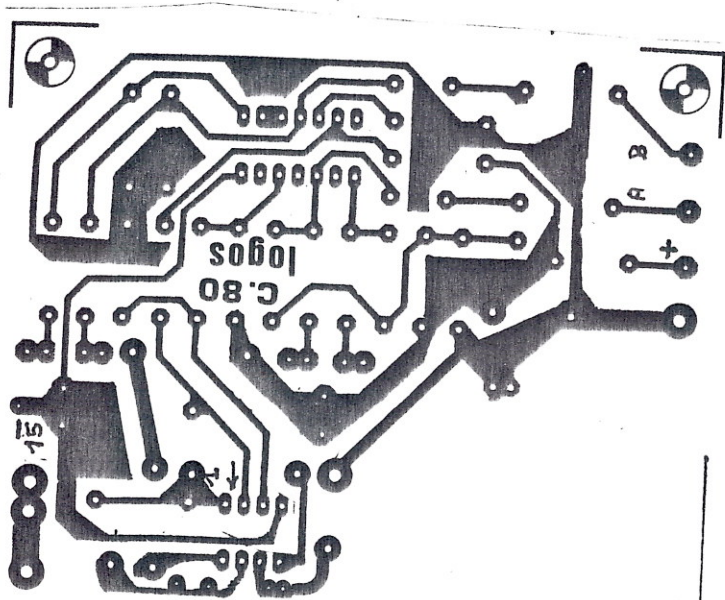
$R51 = \infty$

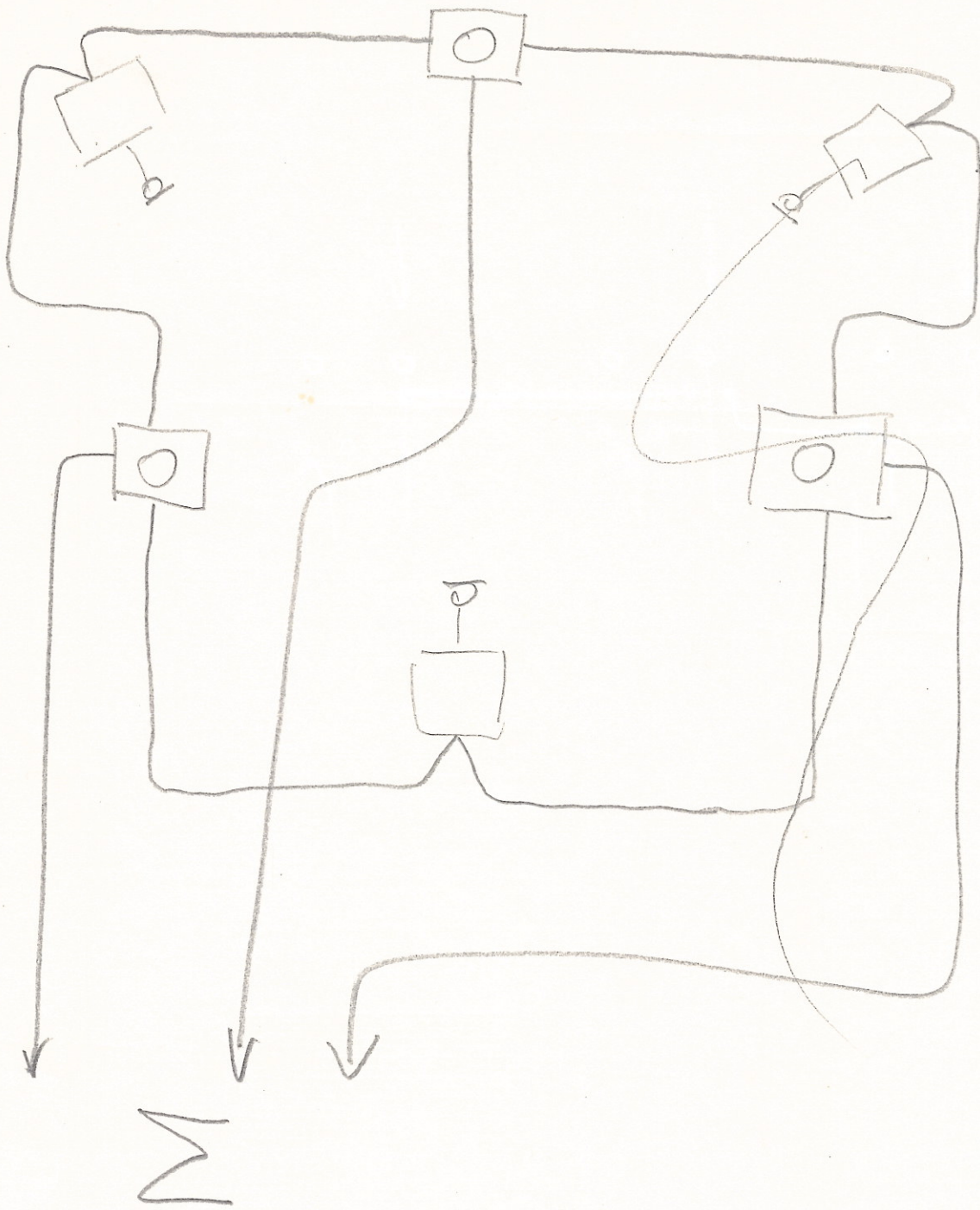
= spanningsvolger.



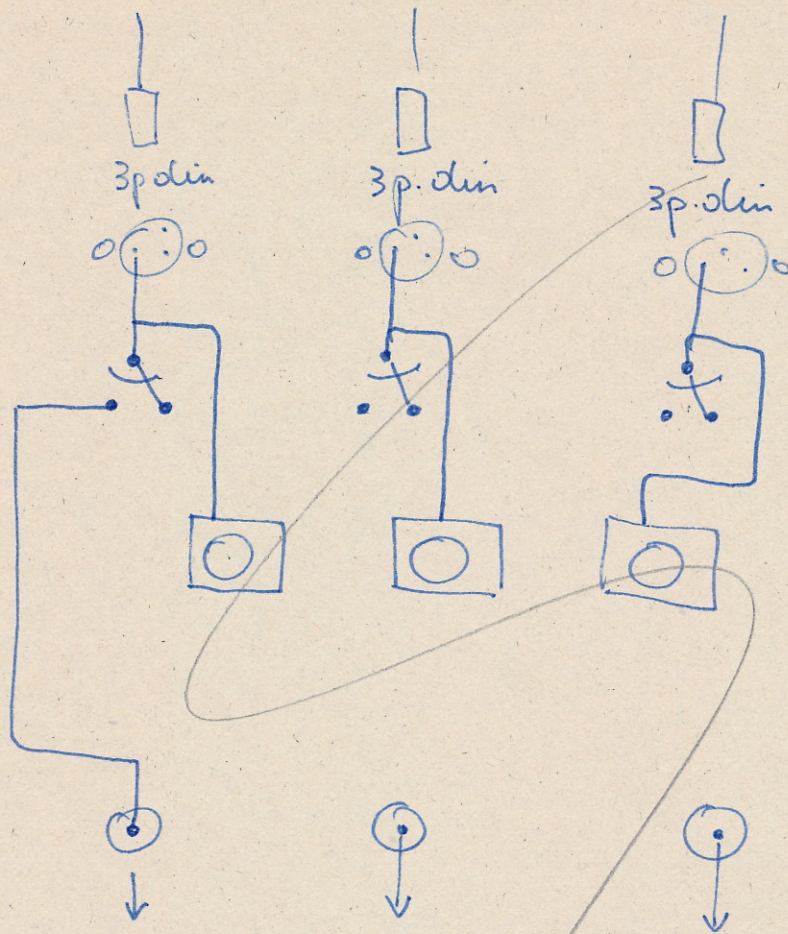
Te boven

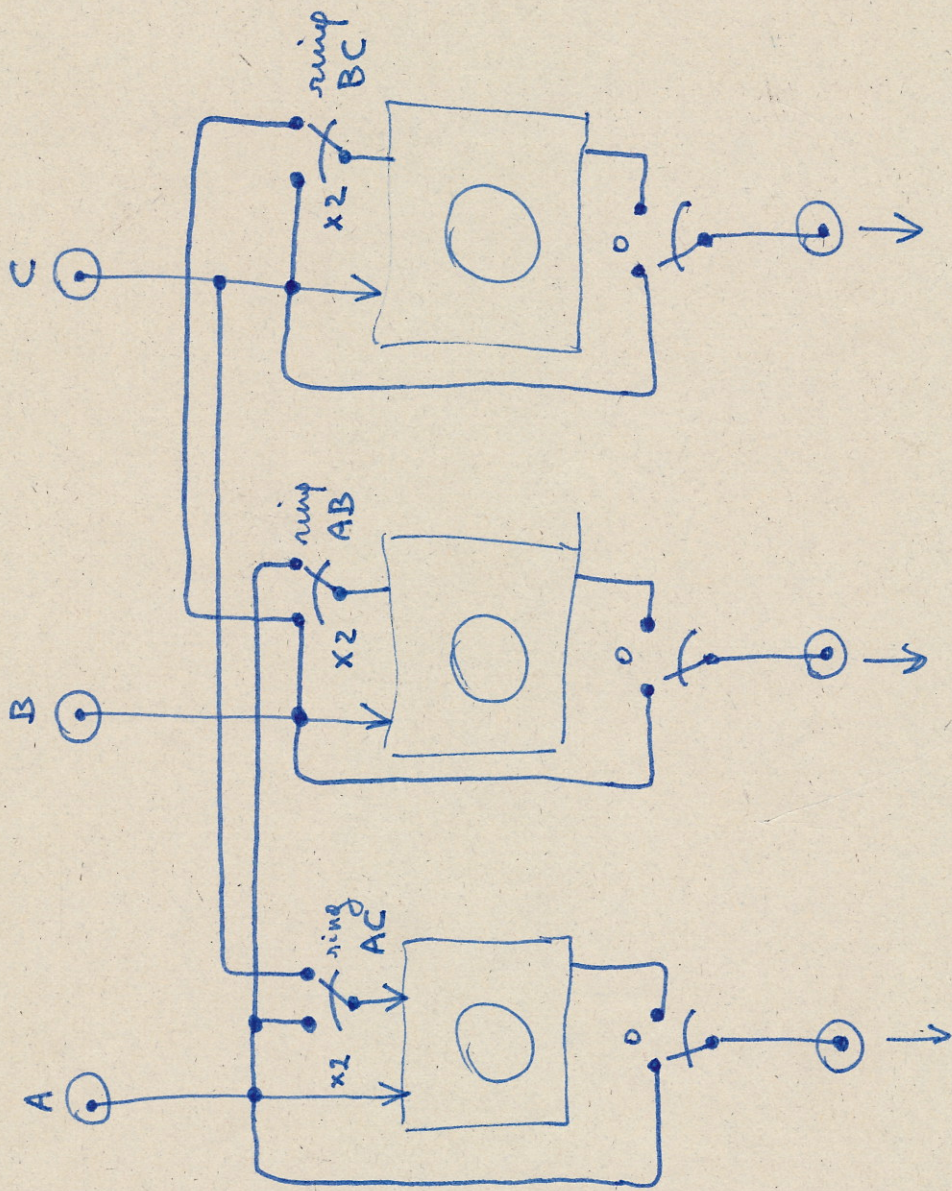
R15	1k2	1%
R6	1k5	
R7	1k5	
R4	2k7	
R3	2k7	
R16	1k2	
R11	2k7	
R13	2k7	





Schemo





Hoofdstuk 13

Ringmodulator

De ringmodulator is een schakeling uit de communicatietechniek. De oorspronkelijke ringmodulator wordt voor verschillende modulatie- en detektietechnieken gebruikt. Niet alleen daar echter blijkt de ringmodulator goede diensten te bewijzen. Al snel werd hij ook 'ontdekt' door een geheel andere groep van elektronici: degenen die zich bezighouden met elektronische muziek.

De ringmodulator is een voorbeeld van een vierkwadrantenvermenigvuldiger. Zo'n schakeling doet wat de naam al aangeeft: het vermenigvuldigen van twee ingangsspanningen. De toevoeging 'vierkwadranten' wil dan zoveel zeggen als: de beide ingangsspanningen mogen zowel positieve als negatieve waarden aannemen, terwijl de vermenigvuldiging korrekt blijft. De uitgangsspanning kan dus, volgens bekende motto's als 'min maal min is plus' en 'min maal plus is min', óók zowel positieve als negatieve waarden aannemen. De met behulp van de Elektuur ringmodulator gemaakte oscilloscoopfoto's van figuur 1 en 2 geven een indruk van wat een dergelijke schakeling doet.

Waarom is de ringmodulator nu zo interessant voor toepassing in de elektronische muziek?

Dat kunnen we zien aan de wiskundige betrekking die te maken heeft met het produkt van twee sinussen:

$$\begin{aligned} \sin \alpha \cdot \sin \beta &= \\ &= \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \end{aligned}$$

Deze betrekking vormt de weerslag van een heel interessant verschijnsel: vermenigvuldigd twee sinusvormige signalen met elkaar en er ontstaan twee sinusvormige signalen met frequenties die respectievelijk de som en het

verschil van de twee oorspronkelijke signalen zijn (de 'cos', of cosinus is ook een sinusvormig signaal). Of, in meer muzikale termen uitgedrukt: twee sinustonen met elkaar vermenigvuldigd, leveren twee nieuwe sinustonen op, met toonhoogten die respectievelijk de som en het verschil zijn van de twee oorspronkelijke toonhoogten. Let wel: dit geldt voor *sinustonen*, en niet zonder meer voor signalen met een andere golfvorm. Hoe die zich gedragen, zullen we zo dadelijk zien. Wel geldt een dergelijk gedrag voor *kombinaties* van sinustonen. Stel bijvoorbeeld, dat we een combinatie van twee sinustonen zouden vermenigvuldigen met één andere sinustoon. Elk van de twee sinustonen uit de combinatie zou dan zijn 'eigen' som- en verschiltonen opleveren.

Andere harmonie

De ringmodulator is vooral interessant omdat hij *ingrijpt in het harmonische verband tussen tonen*. We laten dit zien met behulp van een getallenvoorbeeld. Stel dat we aan een van de ingangen van een ringmodulator twee sinustonen toevoeren met frequenties van respectievelijk 2,5 kHz en 4,5 kHz. Deze tonen verhouden zich bij benadering als een zogenaamde verlaagde sept, want hun frequenties verhouden zich als 5 : 9 (de tonen zijn wel wat aan de overdreven hoge kant, maar het gaat hier slechts om een voorbeeld). Aan de andere ingang van de ringmodulator voeren we vervolgens een sinustoon toe met een frequentie van 500 Hz. Wat ontstaat er nu aan de uitgang van de ringmodulator?

De toon van 2,5 kHz, vermenigvuldigd met die van 500 Hz levert twee nieuwe tonen op van respectievelijk 2 kHz en 3 kHz. Op dezelfde manier ontstaan er uit de vermenigvuldiging van de toon van 4,5 kHz met de 500 Hz-toon nieuwe tonen van 4 kHz en 5 kHz. Aan de uitgang van de ringmodulator staan dus vier tonen met frequenties van 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz en 5 kHz; samen vormen deze een majeurakkoord. Kortom: het muzikale verband van de verlaagde sept is omgezet in een ander muzikaal verband, dat van het majeurakkoord. Deze beschrijving is een wat al te feestelijke voorstelling van zaken. Het zal namelijk maar heel weinig voorkomen, dat muzikaal verantwoorde tonen aan de ingangen van een ringmodulator aan de uitgang óók muzikaal aanvaardbare klanken opleveren. Het zojuist gegeven voorbeeld geeft eerder een uitzonderingssituatie weer. Vaker zal het voorkomen dat de aan de uitgang van een ringmodulator verschijnende tonen in harmonisch opzicht een, op zijn zachtst gezegd, nogal ongebruikelijke samenklank laten horen. Nog duidelijker wordt dat, wanneer we niet, zoals in het gegeven voorbeeld, werken met sinusvormige signalen, maar met andere. Het zal bekend zijn dat

andere dan sinusvormige periodieke signalen beschouwd kunnen worden als samengesteld uit een sinusvormige grondtoon met de frequentie van het beschouwde signaal, en een aantal harmonischen daarvan; sinussen met frequenties die elk een veelvoud zijn van de grondtoonfrequentie.

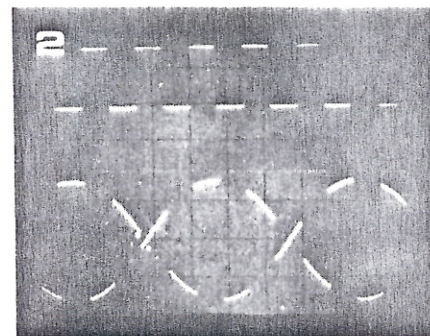
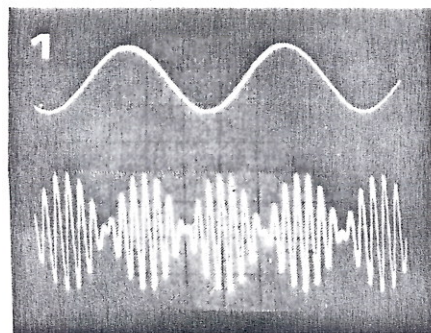
Zo is een zaagtandvormig signaal van bijvoorbeeld 1 kHz opgebouwd uit sinussen van 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz etc. Voeren we een dergelijke zaagtand toe aan de ene ingang van een ringmodulator, en aan de andere ingang een sinus van bijvoorbeeld 300 Hz, dan wordt iedere harmonische met de 300 Hz-sinus vermenigvuldigd. Aan de uitgang ontstaan dan tonen met

Figuur 1. De ringmodulator vermenigvuldigt twee signalen met elkaar. De sinus van het bovenste spoor levert, vermenigvuldigd met een veel hogefrekventer sinussignaal, het typische ringmodulatorsignaal van het onderste spoor op.

Figuur 2. Nog een voorbeeld van de werking van een ringmodulator. Hier worden een blokspanning (bovenste spoor) en een sinus met elkaar vermenigvuldigd. Het resultaat ziet men op het onderste spoor.

Figuur 3. Het blokschema van de Elektuur ringmodulator. Aan de eigenlijke modulator is een envelope follower toegevoegd. Deze schakeling levert de omhullende van het ingangssignaal.

Figuur 4. Het uitgewerkte schema van de ringmodulator. Het eigenlijke 'ringmoduleren' vindt plaats in de dubbelgebalanceerde modulator IC1.



frequentie
1,7 kHz
Oftewel
van 1 kHz
levert
modulatie
geen
elkaar
dergelij
cluster
genoeg
wezen
een ak

Nog v
De clu
wordt
toon v

3

4

gemeenschappelijke ingangssignaal. Bij toepassing als frekwentieverdubbelaar voor niet-sinusvormige en polyfone signalen treedt wel een aanzienlijke intermodulatie tussen allerlei (boven-) tonen op, een effect overigens dat wel degelijk interessante muzikale perspectieven biedt. Extra mogelijkheden ontstaan wanneer men een van beide ingangssignalen bewerkt met bijvoorbeeld een echo of phaser. Tenslotte is het dan nog mogelijk de ringmodulator wat 'oneigenlijk' te gebruiken als spanningsgestuurde versterker (VCA), en wel door de spanning op de ene ingang aan te sluiten, en de andere ingang van het te moduleren signaal te voorzien.

Moelijk

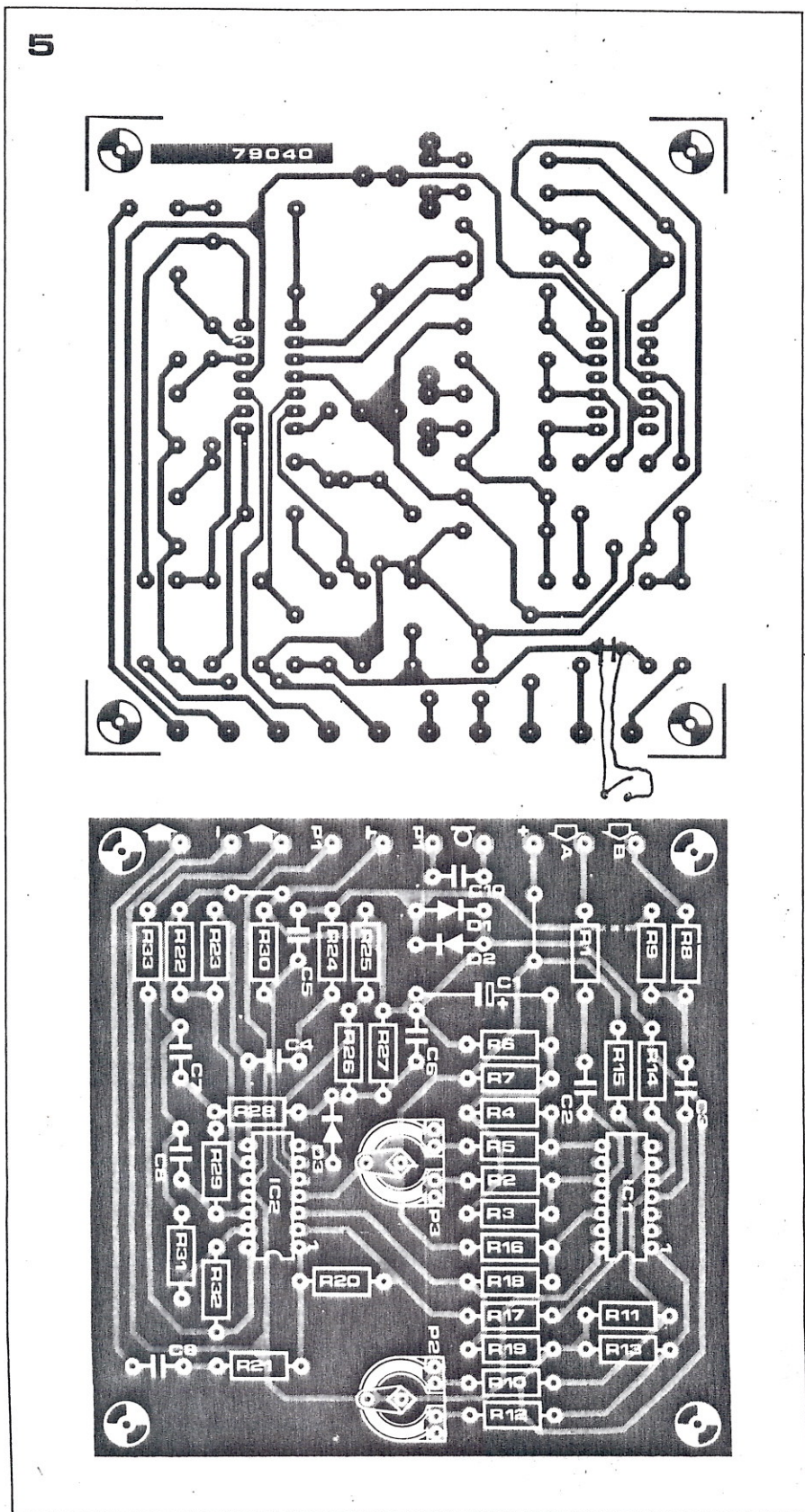
De hier gemaakte opmerkingen geven eigenlijk nog maar een summier beeld van de muzikale gebruiksmogelijkheden van de ringmodulator. Al met al zal het duidelijk zijn dat de ringmodulator bij uitstek het gereedschap is voor de meer experimenteel ingestelde musicus, de man of vrouw die meer geïnteresseerd is in het zoeken naar totaal nieuwe klankstructuren dan bijvoorbeeld het creëren van meer konventionele harmonieën. De ringmodulator is een 'moelijk' apparaat, waarmee slechts gevorderde musici uit de voeten kunnen, een apparaat ook, dat gemakkelijk te misbruiken is. In dat opzicht zou men de ringmodulator de 'viool van de elektronische muziek' kunnen noemen.

Toch hoort de ringmodulator bij het basisarsenaal van de meeste (niet te kleine) muzieksynthesizers. Bovendien wordt hij wel als losse eenheid toegepast door met name gitaristen en 'toetsenmannen', maar ook door andere instrumentalisten.

De ringmodulator is geen ringmodulator

Nu we, na deze noodzakerlijkerwijs wat breedvoerige uitweiding, toe zijn aan het ons meer vertrouwde technische aspekt, moeten we eerst vaststellen dat de naam 'ringmodulator' eigenlijk fout is. De naam ringmodulator staat voor een bepaalde schakeling, die inderdaad werkt als vierkwadrantenvermenigvuldiger (althans voor wisselspanningen) en in de beginjaren van de muziek-elektronica dan ook wel werd toegepast. Inmiddels heeft de elektronica echter veel betere schakelingen voor hetzelfde doel opgeleverd, die tegenwoordig dan ook vrijwel zonder uitzondering worden gebruikt. De naam 'ringmodulator' bleef echter gemeengoed - tenslotte zijn de meeste musici niet geïnteresseerd in de inhoud van het 'kastje', maar alleen in wat er uit komt.

Een betere naam voor de in de meeste moderne ringmodulatorschakelingen toegepaste vermenigvuldiger is dubbelgebalanceerde modulator. Dit is een nogal delikate schakeling, bestaande uit een combinatie van spanningsgestuurde



Figuur 5. De print voor de schakeling van figuur 4.

stroombronnen. Gelukkig is zo'n dubbelgebalanceerde modulator in zijn geheel als IC beschikbaar, zodat we naar het vermenigvuldigen, het 'ringmoduleren' zelf eigenlijk, geen omkijken meer hebben. Om een voor muziektoeepassingen geschikte ringmodulatorschakeling te maken, zijn alleen nog een paar omringende componenten noodzakelijk.

Ter z
Het bl
modul
meest
tor (a
voorzi
van ee
dat de
aan he
die ma
kompe
gebrui
De en
signaa
het sig
de env
om ee
verve
beeld
kan m
van di
willek
gevoe
follow
tegelij
eigenl
door
(of bi
elektr
modu
besta
een g
signaa
afgev.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1, R8, R9 = 27 k
 R2, R5 = 12 k
 R3, R4, R11, R13 = 2k7
 R6, R7 = 1k5
 R10, R12, R14 = 6k8
 R15, R16 = 1k2
 R17 ... R20 = 15 k
 R21, R33 = 470 Ω
 R22, R24 = 5k6
 R23 = 820 k
 R25 = 18 k
 R26, R27, R28 = 68 k
 R29 = 680 k
 R30 = 220 k
 R31 = 10 k
 R32 = 47 k
 P1 = potmeter 10 k log
 P2 = instelpotmeter 220 Ω
 (250 Ω)
 P3 = instelpotmeter 500 Ω

Kondensatoren:

C1 = 100 μ /16 V
 C2, C3 = 120 n
 C4 = 180 n
 C5 = 22 n
 C6, C7 = 220 n
 C8 = 22 n
 C9, C10 = 470 n

Halfgeleiders:

IC1 = LM 1496N (National)
 of MC 1496P (Motorola)
 IC2 = TL 084
 D1 ... D3 = DUS

Ter zake

Het blokschema van de Elektuur ring-modulator is afgebeeld in figuur 3. Het meest opvallende is dat de ringmodulator (aangeduid met een maal-teken) voorzien is van een 'extra' in de vorm van een *envelope follower*. De reden dat deze op zich zelfstandige schakeling aan het geheel toegevoegd is, is dat op die manier op een zinvolle manier van componenten en van printruimte gebruik gemaakt kan worden.

De envelope follower levert als uitgangssignaal de omhullende (envelope) van het signaal aan de ingang. De ingang van de envelope follower is gevoelig genoeg om een mikrofoonsignaal te kunnen verwerken. Samen gebruikt met bijvoorbeeld een synthesizer als de Formant, kan men op die manier de omhullende van dit signaal toekennen aan een willekeurig ander signaal. Ook levert de gevoelige ingang van de envelope follower (via een optischakeling) tegelijk een gevoelige ingang op voor de eigenlijke ringmodulator, zodat men een door een mikrofoon opgevangen geluid (of bijvoorbeeld het signaal van een elektrische gitaar) meteen kan ring-moduleren. De envelope follower bestaat uit een voorversterkertrap en een gedeelte waarin het versterkte signaal gelijkgericht en enigszins afgevlakt wordt, zodat een met de

omhullende van het ingangssignaal overeenstemmend variërend gelijkspanningsnivo ontstaat.

De rest van het blokschema spreekt eigenlijk voor zich. Van de twee vermenigvuldigeringsingangen A en B is de B-ingang 'gesplitst' in een normale en een gevoelige ingang. De andere vermenigvuldigeringsingang is alleen normaal beschikbaar. De normale ingangen zijn berekend op signalen tot ca. 1,5 V top-top, zoals ze voorkomen in de Formant synthesizer. De gevoelige ingang heeft al genoeg aan een signaal van ca. 10 mV top-top om volledig uitgestuurd te worden en is dus gevoelig genoeg voor de meeste mikrofoons en gitaarelementen.

Gaan we nu over naar het uitgewerkte schema van figuur 4. De belangrijkste component is IC1. Dit is de dubbelgebalancheerde modulator, waarin de vermenigvuldiging plaatsvindt. Het gebruikte IC is van het type LM 1496N. Een aantal weerstanden zijn nodig om het IC naar behoren te laten werken. Allereerst dienen de twee uitgangssignalen binnen zekere grenzen gehouden te worden, omdat anders met name de onderdrukking van de ingangssignalen (die immers eigenlijk niet tot de uitgang mogen doordringen!) aanzienlijk slechter wordt. Vandaar dat de ingangssignalen met behulp van de weerstanddelers R1/R3 en R8/R11 tot bescheidener proporties (maximaal ca. 150 mV top-top, worden teruggebracht).

Bij dit nivo worden de ingangssignalen meer dan 50 dB in het uitgangssignaal onderdrukt. Deze onderdrukking kan geoptimaliseerd worden met behulp van de instelpotmeters P2 en P3. R6 en R7 vormen een spanningsdeeler die het vereiste gelijkspanningsnivo voor de aansluitingen 8 en 10 van het modulator-IC vastlegt. De overige omringende weerstanden zorgen voor de rest van de juiste gelijkstrooinstelling van de LM 1496N. De uitgangsspanning is ook aangepast op het Formant-standaardnivo van 1,5 V top-top. A3 fungeert als buffer.

De envelope follower is opgebouwd met de opamps A1, A2 en A4. A1 is een versterkertrap die het ingangssignaal op het gewenste nivo brengt. De gevoeligheid is instelbaar met behulp van potmeter P1. Na de versterkertrap worden eventuele te grote spanningen begrensd door D1 en D2. Via R9 wordt het signaal opgeteld bij het signaal op de normale B-ingang; op die manier ontstaat de keuzemogelijkheid tussen normale en gevoelige ingang. Opamp A2 vormt samen met diode D3 en kondensator C6 een topgelijkrichter. Samen met een erop volgend laagdoorlaatfilter met een kantelfrekwentie van 10 Hz levert deze een signaal dat nauwkeurig de omhullende van het ingangssignaal volgt. Met opamp A4 tenslotte wordt de omhullende op nivo gebracht. De waarden die de spanning op de uitgang van de envelope follower kan aannemen, liggen tussen 0 en 10 V.

Bouw en afregeling

De schakeling kan worden opgebouwd op de print van figuur 5. Voor het modulator-IC bestaan enkele ekwivalenten. Motorola levert onder de benaming MC 1496P een IC dat volledig identiek, en dus ook bruikbaar is. Ook Signetics heeft een ekwivalent in de gedaante van de S 5596. Deze ekwivalent is echter *niet* bruikbaar op de print van figuur 5, vanwege de afwijkende pinning. Men dient dus of de LM 1496N van National, of de MC 1496P van Motorola te gebruiken.

De schakeling wordt gevoed met voedingsspanningen van +15 V en -15 V en verbruikt slechts ca. 11 mA. De afregeling is eenvoudig: sluit een ingangssignaal aan op ingang A en regel instelpotmeter P3 zodanig af dat er op de uitgang van de ringmodulator zo min mogelijk van het ingangssignaal hoorbaar is. Vervolgens doet men hetzelfde met een ingangssignaal op de B-ingang en instelpotmeter P2. Na het herhalen van deze afregeling is de schakeling gebruiksklaar en kan men een begin maken met een boeiende muzikale ontdekkingsreis...

-20 dB verzwakken

Stuklijst : (1 print)

500 Ω trim - plat
220 Ω " "

LM 1496 N

2 x 120n (input) \rightarrow vergrotten naar 330n

100 μ / 16V

470n (\rightarrow 1 μ)

4 x 15k 1% /

2 x 1k2 1% /

2 x 1k5 1% /

4 x 2k7 1% /

3 x 6k8 5% OK

2 x 12k 5% OK

1 x 470 Ω (mag er weg)

MAL

A B . .

$\left[\begin{array}{c} D_i N \\ i \end{array} \right]$

A B . .

$\left[\begin{array}{c} D_i N \\ i \end{array} \right]$

A B . .

$\left[\begin{array}{c} D_i N \\ i \end{array} \right]$

8 liggend trim 220 Ω

8 " " 470 Ω

IC Voeten 2x7p \times 2x4p